

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ИНФОРМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ
ГОРОДСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ НА ОСНОВЕ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РАДИОСЕТЕЙ**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 38.04.05 Бизнес-информатика
очной формы обучения, группы 07001634
Зайцева Игоря Михайловича

Научный руководитель
д.т.н., профессор
В.М. Никитин

Рецензент
заместитель генерального
директора – директор
департамента прикладных
разработок и исследований
ООО «ИВТ БелГУ», к.т.н.
М.В. Лифиренко

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Исследование предметной области	5
1.1 Структура АСУНО «Гелиос».....	5
1.2 Анализ информационно-телекоммуникационных средств АСУНО «Гелиос».....	13
2 Выбор рационального стандарта связи системы управления городским освещением	16
2.1 Обзор существующих стандартов связи.....	16
2.2 Синтез критериев выбора рационального стандарта связи	33
2.3 Выбор рационального стандарта связи.....	35
3 Проект совершенствования информационно-телекоммуникационных средств управления АСУНО «Гелиос».....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	59

ВВЕДЕНИЕ

Ограниченность всех типов ресурсов является ключевой мотивацией деятельности человека. Задача организации эффективного использования ресурсов актуальна для различных сфер человеческой жизнедеятельности. В связи с постоянно растущими объемами потребления электроэнергии особенно важно уделять внимание решению данной задачи в сфере энергетики.

Муниципальные образования затрачивают значительную часть бюджета на оплату освещения территорий и обслуживание линий освещения. Для сокращения издержек применяются различные средства и методы, в их числе автоматизированные системы управления наружным освещением.

Объектом исследования является автоматизированная система управления наружным освещением «Гелиос» используемая на территории города Белгород.

Предмет исследования выступает информационно-телекоммуникационная инфраструктура автоматизированной системы управления наружным освещением «Гелиос» (АСУНО «Гелиос»)

Цель исследования заключается в снижении эксплуатационных издержек АСУНО «Гелиос» путем модификации информационно-телекоммуникационной инфраструктуры системы

Достижение поставленной цели исследования требует решения следующих задач:

- анализ информационно-телекоммуникационной инфраструктуры системы АСУНО «Гелиос»;
- исследование существующих стандартов связи построения энергоэффективных радиосетей;

- синтез критериев выбора рационального стандарта связи для построения энергоэффективных радиосетей;
- выбор рационального стандарта связи для построения энергоэффективных радиосетей;
- разработка проекта совершенствования информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос»;
- оценка экономической эффективности предлагаемого проекта.

В ходе решения поставленных задач применялись методы анализа и синтеза, системный подход, для решения многокритериальной задачи выбора использован метод анализа иерархий.

Положениями, выносимыми на защиту, являются: результаты анализа информационно-телекоммуникационной инфраструктуры системы АСУНО «Гелиос»; состав критериев выбора рационального стандарта связи для построения энергоэффективных радиосетей, усовершенствованный алгоритм работы АСУНО «Гелиос».

Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть применимы при реализации проекта модернизации информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос». Материалы и результаты исследования стандартов связи построения энергоэффективных радиосетей и набор критериев выбора рационального стандарта связи могут быть использованы при разработке и реализации проектов энергоэффективных радиосетей городского масштаба.

1 Исследование предметной области

1.1 Структура АСУНО «Гелиос»

Большая доля потребляемой электроэнергии расходуется в системах освещения улиц, дорог, автомагистралей. В условиях экономии бюджета муниципальными образованиями применяются различные технологии в области энергосбережения. К их числу относятся модернизация имеющихся сетей наружного освещения, замена ламп накаливания более эффективными источниками света, использование современных систем управления системами освещения. Примером такой системы является автоматизированная система управления наружным освещением «Гелиос» разработанная ООО «Институт высоких технологий БелГУ». Система разработана в 2008 году.

Рассмотрим ее структуру, состав и функциональные возможности. Структура АСУНО «Гелиос» представлена следующими элементами:

- web-приложение системы «Гелиос» – клиентская часть;
- сервер системы «Гелиос» – серверная часть системы в т.ч. база данных;
- линии связи GSM;
- высокотехнологичные шкафы управления;
- линии осветительных точек.

Схематично взаимодействие компонентов системы представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема работы системы

Рассмотрим назначение каждого элемента системы более подробно. Web-приложение системы «Гелиос» представляет собой клиентскую часть системы. К техническому и программному обеспечению рабочего места оператора предъявляются следующие требования:

- монитор – цветной, с разрешением не менее 1024 768;
- оперативная память – не менее 1024 Мб;
- доступ к сети Интернет;
- браузер – Google Chrome версия 38, Mozilla Firefox версия 32, Safari версия 5, Internet Explorer версия 10 с отключенными режимами совместимости с другими версиями (указанных версий или выше).

Web-приложение имеет пользовательский графический интерфейс, используется для аутентификации пользователей системы и предоставления им доступа к элементам управления графического интерфейса в соответствии с групповой политикой. На рисунках 2 и 3 приведены страница авторизации пользователей и главная страница системы с указанием основных элементов.

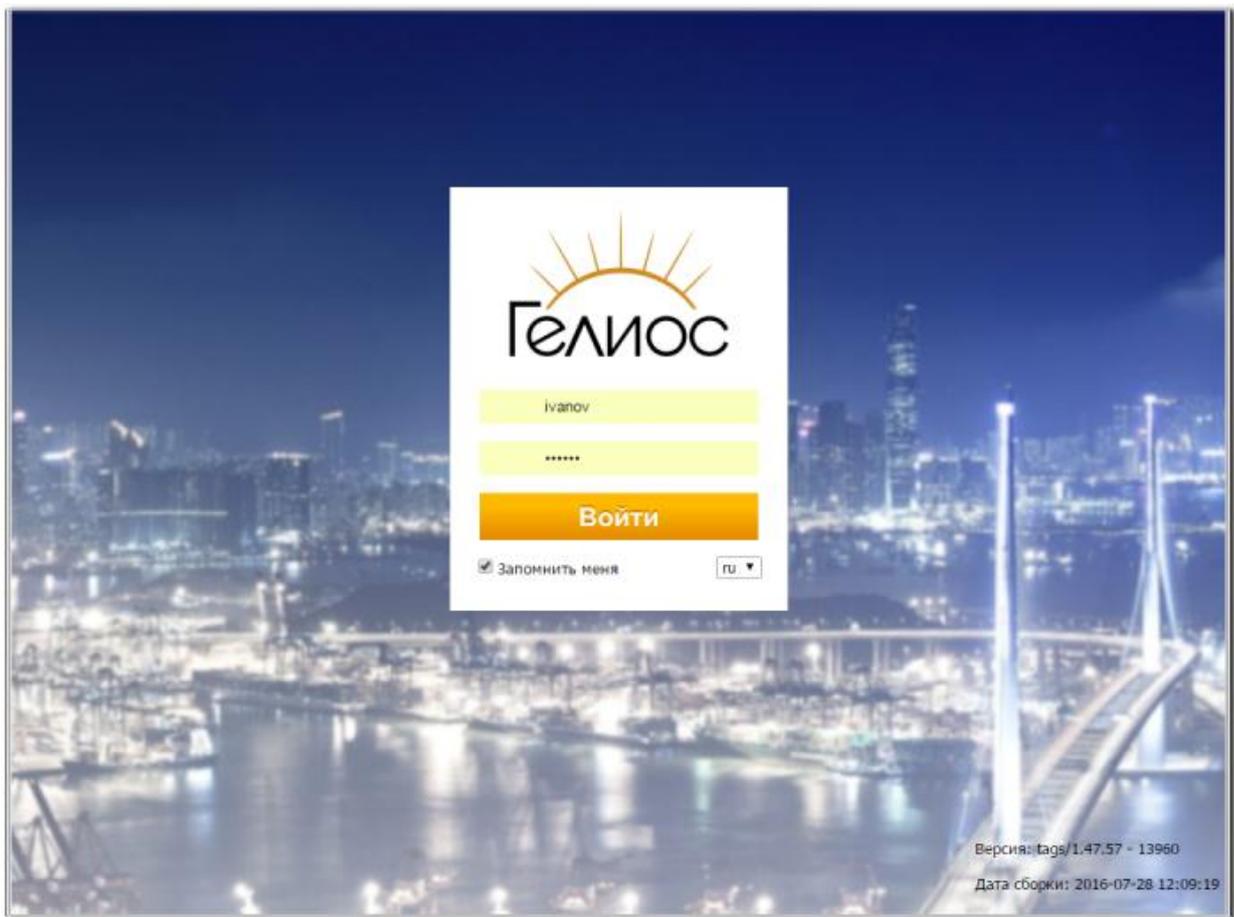


Рисунок 2 – Страница авторизации АСУНО «Гелиос»

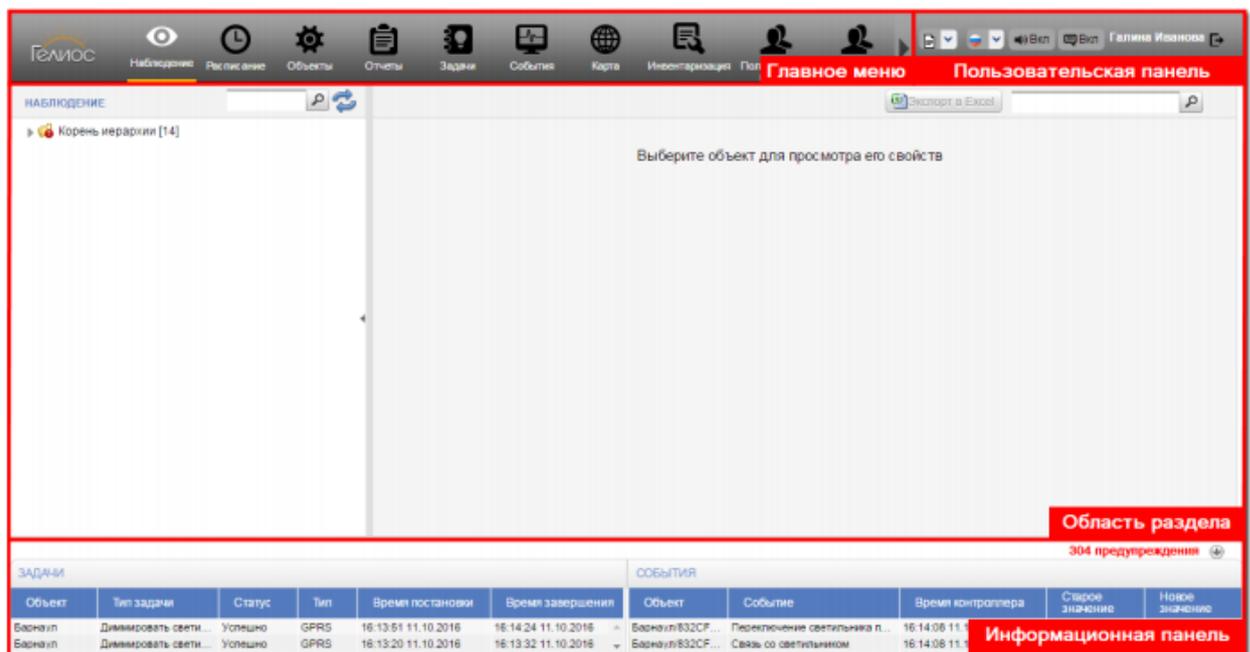


Рисунок 3 – Главная страница АСУНО «Гелиос»

Следующий элемент системы – сервер. Серверная часть рассматриваемой системы включает в себя сервер приложения, сервер базы данных, технические средства и приемо-передатчик GSM.

В качестве каналов связи между серверной частью и высокотехнологичными шкафами управления используются радиоканалы сотовой связи стандарта GSM. Приемо-передающее оборудование серверной части системы АСУНО «Гелиос» и высокотехнологичные шкафы управления линиями освещения имеют модули мобильной связи с применением sim-карт. Таким образом, в качестве каналов связи используются мощности предоставляемым операторами мобильной связи.

Высокотехнологичный шкаф управления (шкаф управления, ШУ) – объект системы «Гелиос», представляющий совокупность блока управления, силового и коммуникационного оборудования, предназначен для непосредственного управления наружным освещением. Пример шкафа управления системы «Гелиос» приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Шкаф управления

Функциональные возможности определяются типом ШУ. В зависимости от типа ШУ в его состав могут входить:

- модуль пофазного управления освещением;
- модуль диммирования линий;
- прибор учета потребленной электроэнергии;
- датчики открытия, короткого замыкания, пожара, освещенности;
- коммуникационное оборудование.

Линии осветительных точек – последний элемент системы. Непосредственно является объектом управления системы. Различают три вида конфигураций АСУНО «Гелиос». Направления функциональных конфигураций системы приведены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Направления функциональных конфигураций АСУНО «Гелиос»

Конфигурация системы с пофазным управлением обладает следующими функциональными возможностями:

- управление объектами по расписанию или по команде диспетчера;
- планирование включения освещения согласно утвержденному графика, либо с привязкой к солнечному календарю;

- контроль состояния оборудования;
- дистанционный учет энергопотребления;
- оперативное оповещение об аварийных и иных событиях.

Схематично принцип работы конфигурации системы с пофазным управлением приведен на рисунке 6.

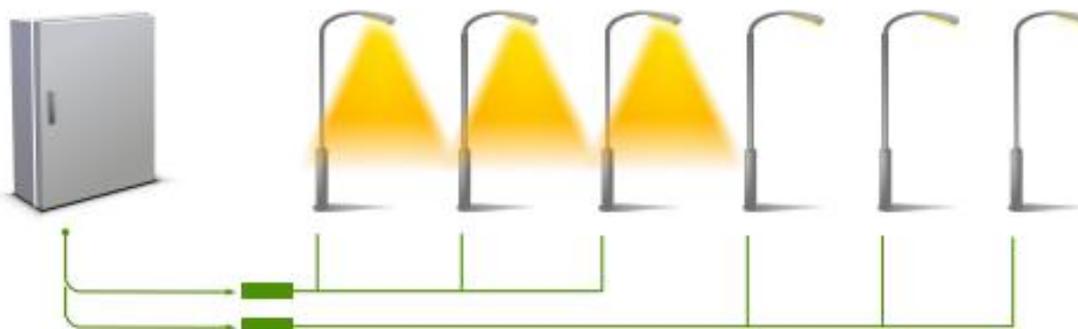


Рисунок 6 – схема работы конфигурации системы с пофазным управлением

Конфигурация системы с индивидуальным управлением каждым светильником обладает следующими функциональными возможностями:

- управление объектами по расписанию или по команде диспетчера;
- планирование включения освещения согласно утвержденному графика, либо с привязкой к солнечному календарю;
- контроль состояния оборудования;
- дистанционный учет энергопотребления;
- оперативное оповещение об аварийных и иных событиях.
- адресное управление каждым светильником;
- возможности диммирования каждого светильника или группы светильников;
- адресное диагностирование состояния ламп.

Схематично принцип работы конфигурации системы с индивидуальным управлением каждым светильником приведен на рисунке 7.

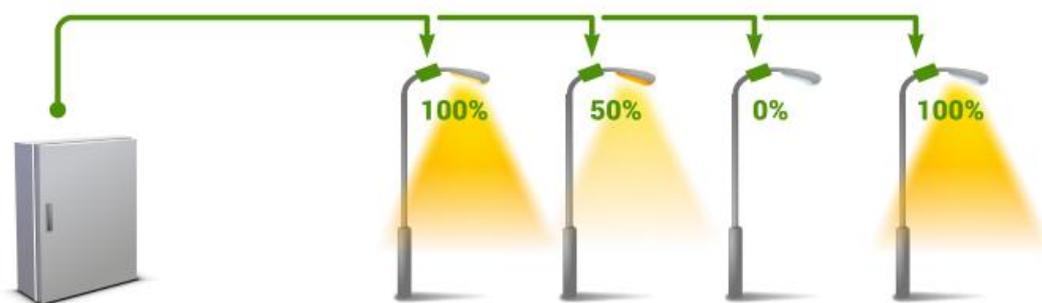


Рисунок 7 – схема работы конфигурации системы с индивидуальным управлением светильниками

Конфигурация системы с возможностью диммирования линий обладает следующими функциональными возможностями:

- управление объектами по расписанию или по команде диспетчера;
- планирование включения освещения согласно утвержденному графика, либо с привязкой к солнечному календарю;
- контроль состояния оборудования;
- дистанционный учет энергопотребления;
- возможность диммирования линии.

Схематично принцип работы конфигурации системы с возможностью диммирования линий представлен на рисунке 8.

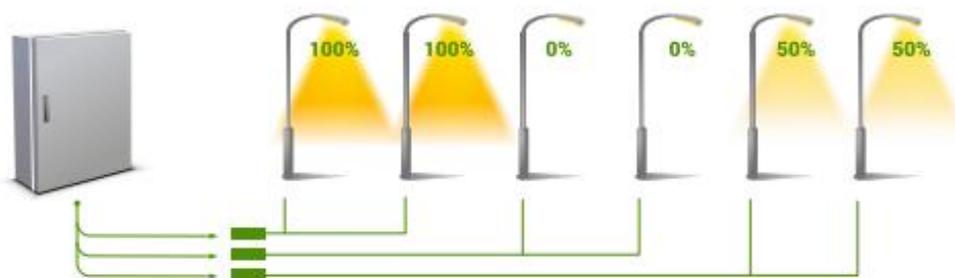


Рисунок 8 – схема работы конфигурации системы с возможностью диммирования линий

В настоящее время АСУНО «Гелиос» внедрена в 20 субъектах РФ. География внедрения представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Субъекты РФ внедрившие АСУНО «Гелиос»

Белгородская область – единственный опыт в Российской Федерации, когда все сети наружного освещения региона полностью автоматизированы и управляемы. На территории Белгородской области системы наружного освещения объединены в единой централизованной управляющей системе, построенной на базе решений компании «ИВТ БелГУ». Всего в составе системы более 1000000 светоточек, которые управляются с помощью 3342 АСУНО «Гелиос», в т.ч. 458 ШУ на территории г. Белгород

1.2 Анализ информационно-телекоммуникационных средств

АСУНО «Гелиос»

Согласно¹ под информационно-телекоммуникационными средствами понимается совокупность программных и аппаратных средств, позволяющих устанавливать связь и передавать пакеты информации, включающие также аудио и видеоинформацию.

В рассматриваемой системе наибольший интерес представляют информационно-телекоммуникационные средства взаимодействия внутренних компонентов системы, т.е. ШУ и сервера системы. Информационно-телекоммуникационные средства взаимодействия пользователя (клиента) системы и связь между ним и сервером системы может быть представлена различными технологиями доступа и к сети Интернет и использовать различные топологии в зависимости от местонахождения пользователя во время взаимодействия системы. Данная часть информационно-телекоммуникационной инфраструктуры рассмотрена не будет.

Рассмотрим подробнее канал передачи, используемые для передачи информации между ШУ и сервером системы. Как уже отмечалось ранее в параграфе 1.1 и на схеме работы системы (рисунок 1) в качестве канала передачи используется стандарт связи GSM. Условно можно выделить три части: приемо-передающая оборудование сервера системы и программное обеспечение, мощности оператора сотовой связи (радиочастоты, совокупность программных и технических средств), приемо-передающие оборудование ШУ и ПО. Важно отметить, что согласно в качестве дублирующего канала связи может применяться дополнительная SIM-карта.

Для адресации сообщений ШУ используются мобильные номера, а для корректной работы требуется подключение следующих услуг мобильной

¹ Сахин, А. Информационно-телекоммуникационные сети. Технологии. Стандартизация [Текст]:/ А. Сахин, Вю Игнатенков – Издательство радиотехника, М. 2012, 336с

связи: GPRS, SMS, CSD (передач данных по голосовому каналу).

Рассчитаем стоимость услуг оператора мобильной связи, потребляемое ШУ в течении 1 месяца. Предположим, что ШУ ежедневно сообщает о включении и отключении освещения, дважды в день отправляет показатели датчика освещенности, еженедельно получает корректировки расписания, и отправляет отчет их получении. Также учтем, что каждый ШУ в среднем около 10 раз отправляет показания прибора учета, а также другую информацию (обрабатывает запросы оператора, оповещения датчика открытия, других событиях определенных в системе). Таким образом, имеем 74 исходящих SMS-сообщения исходя из месяца – 30 дней.

Исходя из данных тарифного плана оператора мобильной связи используемого АСУНО «Гелиос» можно рассчитать, что стоимость обслуживания канала связи для каждого ШУ составляет 107 рублей, (включая услуги "М2Мменеджер" и "Защищенная передача данных", а также минимальные обязательные пакеты GPRS трафика 5Мб. и голосового пакета CSD 10 минут). Ежемесячная абонентская плата без пакета SMS-сообщений составляет 62 рубля. Рассчитаем ежемесячную стоимость использования данного канала связи исходя из количества ШУ458, с допущением, что половина из них имеют резервный канал связи с минимальной абонентской платой. Имеем следующие расчеты:

$$(458_{\text{шу}} * 107\text{р.}) + (458_{\text{шу}} * \frac{1}{2} * 62\text{р}) = 63\ 204\text{р}$$

Высокая стоимость данного вида канала связи используемого в рассматриваемой системе является существенным недостатком. Кроме этого, использование услуг операторов мобильной связи обуславливает наличие в структуре АСУНО «Гелиос» дополнительного контрагента. Данный факт повышает риски связанные с изменением тарифных планов на обслуживание, изменение законодательства (государственного регулирования) в области

предоставления услуг мобильной связи и идентификации пользователей, риски связанные с перегрузкой сети (во время массового скопления людей).

Безусловно, причисленные недостатки являются существенным. В тоже время АСУНО «Гелиос» выполняет все необходимые функции и отвечает необходимым требованиям информационной безопасности. Применение в данной системе в качестве канала связи GSM-канала обусловлено тем фактом, что система внедряется с 2007 года и данное решение было актуально на момент проектирования и внедрения. Беспроводная мобильная связь позволяет монтировать ШУ непосредственно на столбах линий освещения, без проведения дополнительных работ по прокладке кабеля связи, что позволяет существенно снизить временные и экономические издержки данного процесса.

Сегодня благодаря развитию науки и техники, а также концепции Интернета вещей разработаны различные стандарты беспроводной передачи данных. Существующие стандарты радиосвязи позволяют организовывать сети различных топологий, используют разные частоты (в т.ч. не лицензируемые). Модернизация информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос», а именно смена каналов связи, позволит снизить экономические издержки на эксплуатацию системы, а также может служить драйвером создания на своей основе других информационных систем, например системы автоматического контроля показателей приборов учета населения города.

2 Выбор рационального стандарта связи системы управления городским освещением

2.1 Обзор существующих стандартов связи

Рассмотрим некоторые существующие стандарты радиосвязи. LoRaWAN. Протокол LoRaWAN (расшифровывается как Long Range Wide Area Network) был совместно разработан исследовательским центром IBM Research и компанией Semtech. Представляет собой энергоэффективную сетевую технологию, которая базируется на Semtech LoRa(™) PHY чипе.

Работа LoRa осуществляется в суб-гигагерцовых диапазонах ISM (industrial, scientific and medical radio bands) нелицензируемых частот. Архитектурой данной сети является звезда, подключение конечных устройств осуществляется при помощи беспроводной связи к одному или нескольким шлюзам, в свою очередь шлюзы подключаются к серверу сети при помощи стандартного IP-соединения.

Для поддержки и распространения данной технологии была создана открытая некоммерческая организация LoRa Alliance, в которую входят различные компании (например, Cisco, IBM, Semtech, Singtel), в их числе и российская компания LACE.

Достоинства LoRa:

- является открытым стандартом;
- имеет большую дальность действия;
- имеет высокую проникающую способность в условиях значительной застройки (например, в городе);
- низкое потребление энергии (около 10 лет работы сенсора от батареи AA);

- работает в различных нелицензируемых частотах, таких как 109 МГц, 433 МГц, 868 МГц, 915 МГц суб-ГГц ISM полос;
- имеет адаптивную скорость передачи данных;
- имеет поддержку личных и общественных сетей;
- имеет комплексную безопасность и встроенные идентификацию и аутентификацию.

Недостатки LoRa:

- имеет низкую скорость передачи данных;
- имеет единственного поставщика чипов (Semtech);
- отсутствие роуминга.

Поставщиками концентраторов для LoRa являются такие компании, как MultiTech. Так же на основе LoRa создаются общественные сети, такие как, например The Things Network.

СТРИЖ. Создателем протокола СТРИЖ является российская компания СТРИЖ-Телематика. В данной сети применяется собственный протокол Marcato 2.0. Частота является адаптивной и может быть подстроена под ISM диапазон.

Данная технология имеет определенное сходство с технологией LoRa, так же соответствуют их плюсы и минусы. Главное существенное отличие: LoRa использует широкополосное кодирование, в то время как СТРИЖ — узкополосную модуляцию. Как заявляет компания СТРИЖ-Телематика, такой вид модуляции позволяет гораздо более эффективно использовать полосу спектра, увеличивать чувствительность и энергоэффективность и снижать стоимость.

Беспроводная энергоэффективная сеть СТРИЖ организована в Москве со 100% покрытием, а также с частичным покрытием в Московской области, Санкт-Петербурге и нескольких других городах. Данная сеть насчитывает порядка 200 базовых станций. Данная компания так же занимается производством и реализацией радиомодемов, базовых станций, а также счетчиков и датчиков со встроенными модемами.

Достоинства СТРИЖ:

- является открытым стандартом;
- имеет большую дальность действия;
- имеет высокую проникающую способность в условиях значительной застройки (например, в городе);
- низкое потребление энергии (около 10 лет работы сенсора от батареи AA);
- работает в различных нелицензируемых частотах, таких как 109 МГц, 433 МГц, 868 МГц, 915 МГц суб-ГГц ISM полос;
- имеет адаптивную скорость передачи данных;
- имеет поддержку личных и общественных сетей;
- имеет комплексную безопасность и встроенные идентификацию и аутентификацию;

Недостатки СТРИЖ:

- имеет низкую скорость передачи данных;
- имеет единственного поставщика чипов (СТРИЖ-Телематика);
- отсутствие роуминга.

SigFox. Данная система представлена компанией с одноименным названием, которая была основана во Франции в 2009 году. В данном протоколе связи применяется технология под названием Ultra Narrow Band (UNB), такая же, которую использовали во время Второй мировой войны, чтобы поддерживать связь между подводными лодками. Данная технология изначально предназначалась для связи на низких скоростях передачи данных.

Для связи в SigFox в настоящее время используется один из самых популярных европейских ISM диапазонов на 868 МГц (в соответствии со стандартом ETSI и CEPT), а также 902 МГц в США (в соответствии с FCC), в зависимости от существующих определенных региональных правил. Система разворачивается с применением возможностей современных сотовых сетей.

Каждое устройство способно отправлять порядка 140 сообщений за день, а каждое сообщение, в свою очередь, способно содержать до 12 байт

полезных данных. 12 байт вполне достаточно для того, чтобы покрыть потребности устройств, передающих данные, например, местоположение устройства, количество потребляемой энергии, сигналы тревоги или любой другой тип необходимой информации от сенсоров. Также имеется возможность передачи до 4 сообщений из 8 байт полезных данных каждому устройству в течение суток. Для возможности получения сообщения, устройству необходимо сделать запрос данных с сервера, что должно быть запрограммировано на определенные события или на конкретное время. 8 байт, которые отправляются на устройство, позволяют при необходимости отправлять данные конфигурации, так же оптимизировать срок службы аккумулятора. Этих данных достаточно, если отсутствует необходимость в полноценной двусторонней связи.

В отличие от своих конкурентов сеть уже развернута по всей Европе и Северной Америке и охватывает десятки тысяч устройств. Компания проводит сертификацию устройств SigFox Ready™.

Достоинства SigFox:

- наличие большого покрытия;
- имеет сверхнизкое потребление энергии (примерно до 20 лет работоспособности сенсора от 2-х батарей AA);
- имеет гибкую конструкцию антенны;
- совместимость протокола SigFox с существующими трансиверами;
- имеет низкую стоимость.

Недостатки SigFox:

- имеет низкую скорость передачи данных;
- зависим от инфраструктуры сотовых сетей;
- имеет ограниченную помехоустойчивость.

Weightless — представляет собой группу открытых технологических стандартов связи LPWAN (расшифровывается, как Low-Power Wide-Area

Network), которые предназначаются для осуществления обмена данными между базовой станцией и устройствами. Развитие стандартов осуществляет некоммерческая организация Weightless SIG. На данный момент разработаны 3 стандарта — Weightless-N, Weightless-P и Weightless-W, которые используют нелицензируемые частоты суб-гигагерцового диапазона.

Weightless-N основан на технологии Ultra Narrow Band (UNB), которая представляет собой стандарт односторонней связи. Является самым экономичным стандартом группы и со стороны затрат, и со стороны потребления энергии.

Weightless-W работает с использованием частот TVWS (TV white space - являются неиспользуемыми частотами телевизионного спектра) там, где это разрешается местным законодательством. За счет этого происходит удорожание терминала и происходит увеличение его потребления энергии.

Weightless-P является последним из серии стандартов, и который ввели в июле 2015 года. Является полностью двусторонним, имеет поддержку всех основных диапазонов SRD / ISM (short range devices / industrial, scientific and medical). Является самым производительным в группе, поддерживает ряд дополнительных возможностей, таких как роуминг, пейджинг, адаптированное кодирование и др. За счет этого уменьшается его дальность и возрастает потребление энергии.

Достоинства Weightless:

- является открытым стандартом;
- имеет большую дальность;
- обладает высокой проникающей способностью в условиях городской застройки;
- имеет низкое энергопотребление (около 10 лет работы сенсора (Weightless-N));
- работает в различных нелицензируемых частотах (Weightless-P);
- имеет поддержку личных и общественных сетей;
- обладает высокой безопасностью;

- имеет низкую стоимость (Weightless-N).

Недостатки Weightless:

- имеет низкую скорость передачи данных.

Neul имеет в основе протокол Weightless, в котором используются нелицензируемые ISM и TVWS частоты.

В сентябре 2014 года компания Huawei приобрела Neul и та стала дочерней. Согласно заявлению, Neul и Huawei осуществляют совместную работу над новаторской технологией, которая позволит повторно использовать сети мобильных операторов для широкого охвата ультранизкой мощности связи для приложений IoT.

Достоинства Neul:

- имеет большую дальность;
- обладает высокой проникающей способностью в городской застройке;
- обладает низким энергопотреблением (по оценкам до 15 лет работы сенсора);
- имеет хорошую сочетаемость с другими стандартами на соседних частотах.

Недостатки Neul:

- имеет низкую скорость передачи данных;
- является проприетарной технологией.

Nwave

Данная технология разработана британской компанией с офисами в Лондоне, США и Дании, и которую возглавляет выпускник МФТИ Юрий Бирченко.

Технология Nwave имеет определенные сходства с технологией Neul, потому что также основывается на протоколе Weightless, а так же её можно сравнить с SigFox, так как является проприетарной. Nwave иногда описывают как VPN (virtual private network, виртуальная частная сеть) внутри публичного трафика с использованием стандарта Weightless-N. Nwave

использует технологию Ultra Narrow Band (UNB) и нелицензируемые ISM частоты.

Так же компания осуществляет производство и реализацию радиомодемов, базовых станций, а также датчиков со встроенными модемами и наборов для разработчиков.

Описание технологии и внешний вид оборудования Nwave имеют большие сходства с технологией СТРИЖ и оборудованием российской компании СТРИЖ-Телематика.

Достоинства Nwave:

- имеет большую дальность;
- обладает высокой проникающей способностью в условиях городской застройки;
- обладает очень низким энергопотреблением;
- имеет поддержку личных и общественных сетей;
- обладает высокой безопасностью;
- имеет низкую стоимость.

Недостатки Nwave:

- имеет низкую скорость передачи данных;
- является проприетарной технологией.

Dash7 Альянс протокол (или D7A) является открытым протоколом беспроводной связи, который осуществляет работу на частотах 433 МГц, 868 МГц и 915 МГц нелицензируемых ISM / SRD диапазонов. Поддерживает AES 128-битное шифрование и передачу данных до 167 кбит/с, при этом размер максимального пакета данных составляет 256 байт.

Продвижение протокола осуществляется некоммерческим Альянсом Dash7 Alliance со штаб-квартирой в Бельгии. Протокол имеет в основе международный стандарт ISO/IEC 18000-7, который описывает интерфейс для активной RFID и используется в военной логистике США (НАТО). Последняя версия протокола DASH7 уже не имеет совместимости со стандартом ISO/IEC 18000-7.

Достоинства Dash7:

- является открытым стандартом;
- обладает достаточно большой дальностью;
- обладает высокой проникающей способностью в условиях городской застройки;
- обладает низким энергопотреблением;
- работает на различных нелицензируемых частотах.

Недостатки Dash7:

- имеет низкую скорость передачи данных;
- обладает средней проникающей способностью в воде;
- обладает определенными требованиями к антеннам.

Консорциум 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project), который разрабатывает спецификации для мобильной телефонии, уже давно осуществляет работу над улучшением GSM (Global System for Mobile Communications, изначально Groupe Spécial Mobile) и LTE (Long-Term Evolution) с точки зрения IoT. Работа проводится в следующих направлениях: улучшение проникающей способности, понижение энергопотребления, рост экономичности и масштабируемости. Ближайшие улучшения связаны с Release 13, и заявлены как достойные конкуренции с LoRa и SigFox. Согласно данным консорциума, практически удалось решить все вышеуказанные проблемы, в том числе по энергосбережению. А стоимость модуля M2M должна составить в 2016 году \$4,5 для GSM и \$5 для LTE-M.

Достоинства GSM, LTE:

- функционируют на существующей инфраструктуре сотовых сетей;
- широко распространены по всему миру;
- имеют высокую скорость передачи данных;
- имеют поддержку личных и общественных сетей;
- имеют высокую комплексную безопасность;
- роуминг.

Недостатки GSM, LTE:

- работают в лицензируемых частотах;
- обладают высокими тарифами.

Технологию Narrow-Band Long-Term Evolution (NB-LTE) продвигают такие известные корпорации, как Nokia Networks, Ericsson, Intel, которые объединились для совместной работы в этой отрасли. Sprint, Verizon Wireless, Alcatel-Lucent, Qualcomm, Samsung, Sony и ZTE также присоединились к этой инициативе.

Некоторые эксперты рассматривают NB-LTE, как прямой вызов Huawei Technologies, развивающей технологию Narrowband Cellular IoT (NB-CIoT). NB-CIoT уже получает поддержку от таких известных корпораций, как Vodafone, T-Mobile, TeliaSonera и China Unicom.

Главное отличие между NB-LTE и NB-CIoT заключается в том, насколько существующие LTE-сети могут быть переориентированы на IoT. Huawei отказывается от комментариев на этот счет, но критики подхода «чистого листа» (clean slate) NB-CIoT отмечают, что для данной технологии требуются новые чипсеты и, кажется, данная технология не имеет обратной совместимости с LTE-сетями старше Release 13.

Согласно заявлениям представителей Nokia, NB-LTE, напротив, может быть полностью интегрирована в существующие LTE- сети и работает в рамках существующих полос LTE. Другими словами, NB-LTE использует существующую экосистему и, таким образом, обещает большую экономию на масштабе.

Что касается остального, обе технологии нашли решение проблемы энергосбережения: заявленная продолжительность работы устройства от элемента питания — 10 лет. Кроме того, в несколько раз улучшили проникающую способность в плотной городской застройке, и количество возможных подключений устройств увеличено на 2 порядка. Стоимость модуля M2M оценивается в \$4 в 2016 году.

Преимущества и недостатки этих технологий соответственно исходят из преимуществ и недостатков GSM и LTE.

Wireless RF

Wireless RF – представляет собой технологию, использующую беспроводные радио-датчики и исполнительные механизмы, которые являются дешевыми и простыми в развертывании. Они характеризуются очень низким потреблением энергии. Дальность действия достигает до 100 м в условиях прямой видимости и до 500м с использованием внешних антенн. Действует данная технология обычно на частоте 315 или 433 МГц и имеет скорость 10 — 115.2 кбит/с, а так же есть поддержка AES шифрования 128 бит.

Bluetooth Low Energy (BLE) представляет собой беспроводную персональную сетевую технологию, которую разработала и реализует Bluetooth Special Interest Group. В настоящее время технология Bluetooth присутствует на всех мобильных платформах, данной технологией (BLE) оснащаются практически все новые устройства. Данная технология хорошо поддерживается и надежна для ближних коммуникаций. Часто используется для связи между смартфонами и другими персональными, реже домашними электронными устройствами. Данная технология, в частности, лежит в основе технологии iBeacon.

Достоинства BLE:

- широко распространена в мире;
- имеет высокую скорость передачи данных;
- обладает высокой надежностью.

Недостатки BLE:

- существуют проблемы с аутентификацией и приватностью;
- имеет низкую проникающую способность в условиях городской застройки;
- нет возможности определить местонахождение.

Wi-Fi (или WiFi, изначально от англ. Wireless Fidelity) — представляет собой локальную беспроводную сетевую технологию, позволяющую электронным устройствам подключаться к сети, в основном используя частоты 2,4 ГГц и 5 ГГц ISM радиодиапазона. Технологию развивает Wi-Fi Alliance на основе стандарта IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11. Wi-Fi представляет собой зарегистрированную торговую марку одноименного альянса, в который входит более 600 компаний. Данная технология де-факто превратилась практически в повсеместную, в мире производятся миллиарды Wi-Fi устройств в год.

Wi-Fi изначально предназначалась для использования в локальной связи. В настоящее время точки доступа со шток-антеннами обеспечивают радиус действия примерно до 100 м без препятствий. Существуют решения с использованием усилителя и полупараболической антенны с дальностью свыше 20 км.

Данная технология не стоит на месте и постоянно развивается. К примеру, технология Wi-Fi Direct позволяет устройствам Wi-Fi подключаться напрямую без точки доступа и сети. Устройства получают возможность устанавливать соединение друг с другом или с группой из нескольких устройств одновременно. Подключение Wi-Fi Direct-сертифицированных устройств происходит следующими способами: либо подключение двух NFC-совместимых устройств вместе, либо подключение с помощью ввода ПИН-кода. Более того, все прямые соединения Wi-Fi защищаются WPA2.

Wi-Fi соединения могут нарушаться, либо скорость соединения снижаться при наличии каких-либо подобных устройств в том же районе. Работа многих 2,4 ГГц 802.11b и 802.11g точек доступа по умолчанию происходит на одних каналах при первоначальном запуске. Wi-Fi загрязнение может превратиться в проблему для районов с большой плотностью, например, больших жилых комплексах или офисных зданиях со многими точками доступа Wi-Fi. Кроме этого, диапазон 2,4 ГГц используется многими другими устройствами: микроволновыми печами, ZigBee

устройствами, устройствами Bluetooth, беспроводными телефонами, видеонянями, что может вызывать значительные дополнительные помехи. Это становится проблемой и в то случае, когда муниципалитеты или другие крупные объекты (такие как университеты) стремятся обеспечить большую зону покрытия Wi-Fi.

Корпорации Cisco и Apple выпустили документ «Enterprise Best Practices for Apple Devices on Cisco Wireless LAN», содержащий совместные рекомендации, которые касаются использования в сетях устройств iPhone, iPad, iPod (с операционной системой не ниже iOS 9.0). Согласно этому документу, «полоса 2,4 ГГц не считается пригодной для любых бизнес- и/или критичных корпоративных приложений». Для беспроводных сетей, в которых происходит использование устройств Apple, компаниям рекомендуют использовать исключительно частоты 5 ГГц (стандарт 802.11a/n/ac). Тем не менее диапазон 2,4 ГГц до сих пор является основным, и используется по умолчанию для большинства мобильных устройств, к тому же использование частот 5 ГГц для Wi-Fi разрешается не во всех странах.

Стандарт шифрования WEP, который был введен первоначально, можно весьма просто взломать даже при правильной конфигурации (причина в слабой стойкости алгоритма). На новых устройствах поддерживаются более совершенные протоколы шифрования данных WPA и WPA2. Многим организациям приходится использовать дополнительное шифрование для защиты от информационных атак. На данный момент основным методом взлома WPA2 является подбор пароля, поэтому рекомендуется использовать сложные цифро-буквенные пароли для того, чтобы максимально усложнить задачу подбора пароля. Кроме того, стандартами Wi-Fi не предусмотрено шифрование передаваемых данных в открытых сетях. Это значит, что все данные, которые передаются по открытому беспроводному соединению, могут быть прослушаны злоумышленниками при помощи программ-снифферов. Поэтому, при использовании бесплатных хот-спотов не следует передавать в Интернет критически важные данные.

Достоинства Wi-Fi:

- широко распространена по всему миру;
- имеет гарантированную совместимость;
- обладает высокой скоростью передачи данных;
- обладает высокой надежностью.

Недостатки Wi-Fi:

- имеет интерференцию и помехи;
- обладает некоторыми проблемами с безопасностью;
- имеет невысокую проникающую способность в условиях городской застройки;
- обладает высокой энергоемкостью;
- имеет различный диапазон и ограничения в разных странах, во многих странах требуется регистрация сетей Wi-Fi, работающих вне помещений.

Wi-Fi HaLow. Недавно на CES 2016 Wi-Fi Alliance была анонсирована разработка нового стандарта беспроводной связи, которая предназначена для работы в Интернете вещей. Название данного стандарта HaLow и он имеет пока не утвержденную спецификацию IEEE 802.11ah. Сертификацию первых устройств, совместимых с Wi-Fi HaLow, планируется начать в 2018 году, однако продукты с поддержкой новой спецификации будут появляться на рынке раньше.

Для подключения Wi-Fi HaLow планируется использовать нелицензируемую частоту 900 МГц. Это отразится на увеличении проникающей способности сигнала в условиях городской застройки, а радиус ее действия станет гораздо больше в сравнении с современным беспроводным стандартом, — до 1 километра. В то же время из-за увеличения «дальнобойности» происходит уменьшение мощности сигнала. Пропускная способность Wi-Fi HaLow будет гораздо ниже, чем максимум Wi-Fi 802.11ac (7 Гбит/с), предполагаемая скорость: 50 кбит/с — 18 Мбит/с.

В соответствии с заявлением альянса, HaLow будет широко использовать существующие протоколы Wi-Fi, что будет обеспечивать высокий уровень совместимости и безопасности.

Thread Group была создана корпорациями OSRAM, QUALCOMM, ARM, Samsung, Nest Labs и другими (более 200 компаний). Главной её целью является разработка самого лучшего способа подключения и управления устройствами в доме. Данной некоммерческой организацией продвигается Thread Networking Protocol (беспроводной сетевой протокол на основе IP) и сертифицируются продукты. Первый публичный релиз состоялся 13.07.2015г. (Revision 2.0). В ближайшее время планируется сертифицировать более 30 устройств.

Thread реализован в качестве дополнения к Wi-Fi, имеются определенные ограничения для применения в домашней автоматизации в плане безопасности и потребления энергии. Протокол основывается на стандарте связи 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks), который является стандартом взаимодействия по протоколу IPv6 (новая версия протокола IP с длиной адреса 128 бит вместо 32 в IPv4) поверх беспроводных персональных сетей с малой мощностью стандарта IEEE802.15.4. Для существующих устройств, которые поддерживают стандарт IEEE802.15.4, достаточно просто можно произвести обновление до Thread. Протокол осуществляет обеспечение безопасности банковского класса AES в дополнение к надежности меш-сети, которая разработана специально для домашней автоматизации. К одной сети можно подсоединить 250+ авторизованных устройств. Широкая поддержка “спящего режима” позволяет в течение многих лет эксплуатировать устройства даже от одной батареи AA.

Достоинства Thread:

- является дополнением к Wi-Fi;
- разработан конкретно для домашней автоматизации;
- имеет надежную самовосстанавливающуюся сеть;

- использует проверенные открытые стандарты;
- имеет высокую безопасность;
- обладает низким энергопотреблением.

Недостатки Thread:

- обладает интерференциями и помехами;
- имеет невысокую проникающую способность в условиях городской застройки;
- имеет различный диапазон и ограничения в разных странах, во многих странах требуется регистрация сетей Wi-Fi, работающих вне помещений.

ZigBee

ZigBee представляет собой спецификацию сетевых протоколов верхнего уровня, которые регламентированы стандартом IEEE 802.15.4, появившемся в 2003 году. С помощью ZigBee и IEEE 802.15.4 описываются беспроводные персональные вычислительные сети (WPAN, wireless personal area networks). Спецификация ZigBee ориентируется на приложения, которые требуют гарантированную безопасную передачу данных при относительно малых скоростях и возможности продолжительной работы сетевых устройств от автономных источников питания. Технология ZigBee поддерживает как простые топологии сети («точка-точка», «дерево» и «звезда»), так и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую (mesh) топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений.

ZigBee разрабатывает и продвигает ZigBee Alliance, куда входят более 300 организаций. Альянс также занимается сертификацией оборудования и устройств. 16 декабря 2015 года ZigBee Alliance сделал заявление о ратификации ZigBee 3.0, который учитывает современные требования IoT и поддерживает все предыдущие версии и огромное число уже проданных устройств.

Достоинства ZigBee:

- обладает способностью к самоорганизации и самовосстановлению;

- прост в развертывании;

- обладает высокой помехоустойчивостью;

- обладает высокой безопасностью;

- работает на нелицензируемых частотах;

- обладает низким энергопотреблением (в том числе режим “сна”

для устройств)

Недостатки ZigBee:

- обладает невысокой скоростью;

- трата большей части трафика на передачу пакетов, которые содержат адресную информацию, информацию по синхронизации и т.п.

- имеет невысокую проникающую способность в условиях городской застройки;

- отличается недостаточно высоким уровнем стандартизации и отсутствием единой программно-аппаратной платформы для разработки сложных приложений

Z-Wave

Z-Wave является запатентованным беспроводным протоколом связи, разработанным в основном для домашней автоматизации. Данной технологией используются миниатюрные радиочастотные модули малой мощности, встраиваемые в бытовую электронику и различные устройства. Z-Wave работает в диапазоне частот до 1 ГГц и оптимизирован для передачи простых управляющих команд с малыми задержками. Основой решения Z-Wave является самоорганизующаяся ячеистая сеть (mesh сеть), каждый узел или устройство которой способен принимать и передавать управляющие сигналы остальным устройствам сети, используя промежуточные соседние узлы.

Радио чипы для Z-Wave производят компании Sigma Designs и Mitsumi. Отличительной особенностью Z-Wave является то, что все эти

продукты совместимы между собой. Для подтверждения совместимости существует процесс сертификации Z-Wave или Z-Wave Plus. Сертификацию осуществляет Sigma Designs, сертифицировавшая более 1350 продуктов Z-Wave. Глобально протокол поддерживает и развивает Z-Wave Alliance, объединяющий более 325 компаний.

Достоинства Z-Wave:

- разработан конкретно для домашней автоматизации;
- обладает способностью к самоорганизации и самовосстановлению;
- прост в развертывании;
- обладает высокой помехоустойчивостью;
- обладает высокой безопасностью;
- работает на нелицензируемых частотах;
- отсутствует интерференция с многочисленными устройствами на 2.4 ГГц;
- обладает низким энергопотреблением.

Недостатки Z-Wave:

- обладает невысокой скоростью;
- при решении потребности в более 30 устройствах, Z-Wave становится дороже, чем кабельные системы;
- имеет невысокую проникающую способность в условиях городской застройки;
- необходимость платить Sigma Designs, как владельцу технологии.

Из многообразия рассмотренных стандартов построения радиосетей выделим те, которые имеют наибольший радиус действия. Данное требование обусловлено большой территориальной распределенностью элементов системы АСУНО «Гелиос». Наибольшая зона покрытия от одной базовой станции сети позволит снизить издержки на создание такой сети в масштабах города. К стандартам построения радиосетей большого радиуса действия можно отнести следующие:

- LoRaWAN;
- СТРИЖ;
- SigFox;
- Weithless-P;
- Weithless-W;
- Nuel;
- Nwave;
- Dash7.

2.2 Синтез критериев выбора рационального стандарта связи

Для выбора оптимального стандарта связи для реализации проекта модернизации информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос» необходимо сформировать набор критериев. Набор критериев должен охватывать различные наиболее важные характеристики рассматриваемых стандартов связи, а также отражать опыт использования данного стандарта и его поддержку разработчиком, производителями оборудования (чипов связи, базовых станций, оконечных устройств).

Дальность покрытия одной БС – характеристики отражающее значение максимального радиуса покрытия сигналом радиосвязи. Дальность определяет, в каком масштабе будет разворачиваться сеть.

Используемая частота – определяет частоту радиосвязи, используемую в стандарте. Является важной характеристикой т.к. различные частоты имеют различную загруженность, также отличают лицензируемые и не лицензируемые частоты. На использование не лицензируемых частот не накладываются ограничения со стороны государства, в то время как использование лицензируемых частот требует получении соответствующей

лицензии государственного образца.

Номинальная скорость передачи данных – максимальнодостижимая скорость передачи данных между устройствами сети гарантированная используемым стандартом связи.

Масштабируемость – особенность стандарта связи, совокупно характеризующая легкость масштабируемости сети, т.е. увеличения числа базовых станций в рамках одной сети и количества одновременно работающих устройств.

Наличие и качество документации – характеристика отражающая представленность на русском языке и в достаточном количестве документации описывающей стандарт связи, рекомендаций разработчиков, другой дополнительной документации, которая может быть полезна при разработке и реализации проектов сети с и применением данного стандарта радиосвязи.

Наличие конечных устройств с поддержкой стандарта на рынке – характеристика стандарта радиосвязи отражающие наличие на рынке устройств с поддержкой данного стандарта связи, их доступности, ассортимента и ценовой политики.

Устойчивость к помехам – устойчивость сигнала связи передаваемого по протоколу связи рассматриваемого стандарта к помехам, искажениям сигнала. Реализация в стандарте программных и аппаратных средств повышения устойчивости сигнала к помехам.

Безопасность – поддержка рассматриваемым стандартом радиосвязи алгоритмов шифрования сигнала, защиты от перехвата сообщений, подмены пакетов данных.

Поддержка ячеистой топологии (mesh) – наличие в рассматриваемом стандарте возможности реализации типологии mesh-сетей.

Открытость протокола (платформы) – контроль оператором системы всех элементов сети в т.ч. доступ к исходным кодам программной платформы (если таковая предусмотрена стандартом)

Стоимость оборудования – характеристика отражающая стоимость оборудования (и программных средств, если таковые требуется) необходимого для реализации проектов радиосетей на основе рассматриваемого стандарта связи.

Наличие поставщиков оборудования с поддержкой стандарта связи на российском рынке – представленность на российском рынке поставщиков оборудования (и программных средств, если таковые требуется), их количество, деловой имидж, качество послепродажного обслуживания.

Наличие производителей оборудования с поддержкой стандарта связи на российском рынке – характеристика отражающая представленность на российском рынке производителей оборудования (и программных средств, если таковые требуется), или официальных представительств международных компаний занимающихся изготовлением оборудования для реализации проектов радиосетей на основе рассматриваемого стандарта связи.

2.3 Выбор рационального стандарта связи

Для решения задачи выбора рационально стандарта связи реализации проекта модернизации информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос» применим метод анализа иерархий. По результатам проведенного исследования существующих стандартов радиосвязи выделено 8 альтернатив. Группу критериев выбора составляют 13 критериев. Таким образом, в ходе решения проблемы выбора стандарта связи предстоит заполнять матрицы парных сравнений размерностью 8x8.

При проведении исследования будет применяться программное средство СППР «Решение». Применение данного специализированного программного средства позволит:

- производить расчет приоритетов автоматически, что позволит избежать вычислительных ошибок при проведении расчетов;
- в ходе экспертной оценки будет осуществляться контроль заполнения матриц парных сравнений, а именно автоматически выставляться парное значение сравнения;
- устранить возможность ошибочного ввода, а именно защищать от редактирования ячейки матриц парных сравнений диагонального вектора не предназначенных для заполнения;
- в ходе заполнения матриц парного сравнения в автоматическом режиме подсчитывать индекс согласованности оценок, отношение согласованности матриц парных сравнений;
- производить автоматический анализ заполнения матриц парных сравнений и поиск ошибок заполнения.

Имеющиеся альтернативы стандартов связи и критерии были внесены в СППР «Решение», рисунок 10.

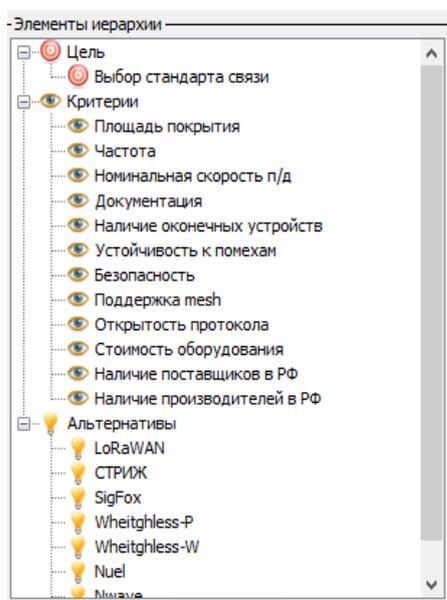


Рисунок 10 – Элементы иерархии

Иерархия выбора рационального стандарта связи для реализации проекта модернизации информационно-телекоммуникационной системы АСУНО «Гелиос» представлена на рисунке 11.

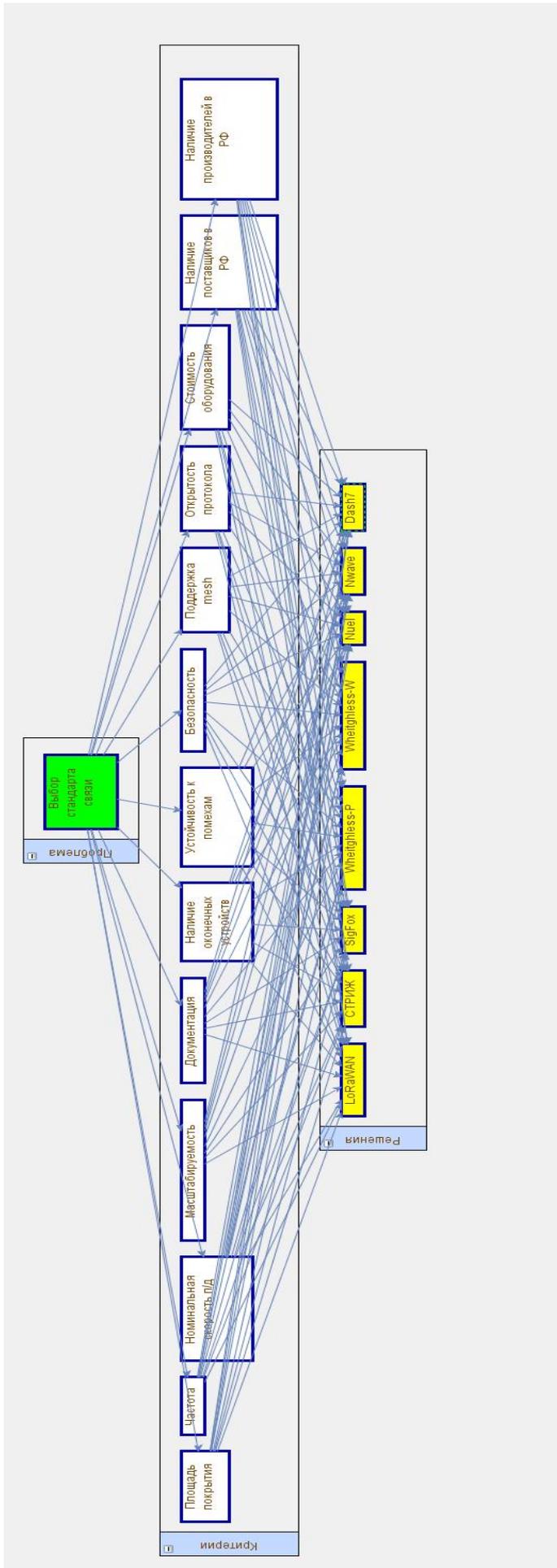


Рисунок 11 - Иерархия выбора рационального стандарта связи

На рисунке 12 представлен интерфейс заполнения матриц парных сравнений. В ходе заполнения матрицы автоматически происходит расчет приоритетов по рассматриваемому критерию, вычисление индекса согласованности и отношения согласованности.

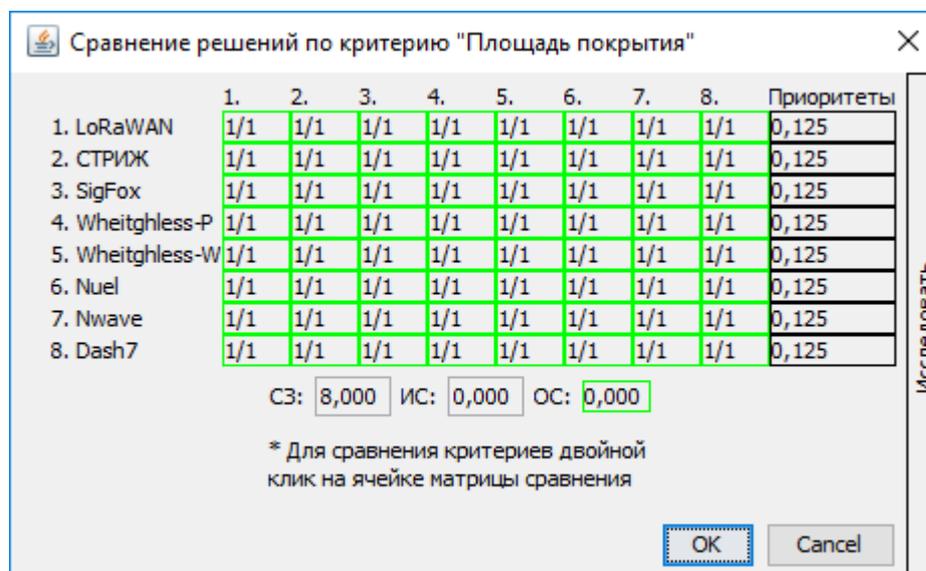


Рисунок 12 – Интерфейс заполнения матриц парных сравнений

Если отношение согласованности превышает допустимую норму 0,1, то система сигнализирует об ошибке цветом, рисунок 13.

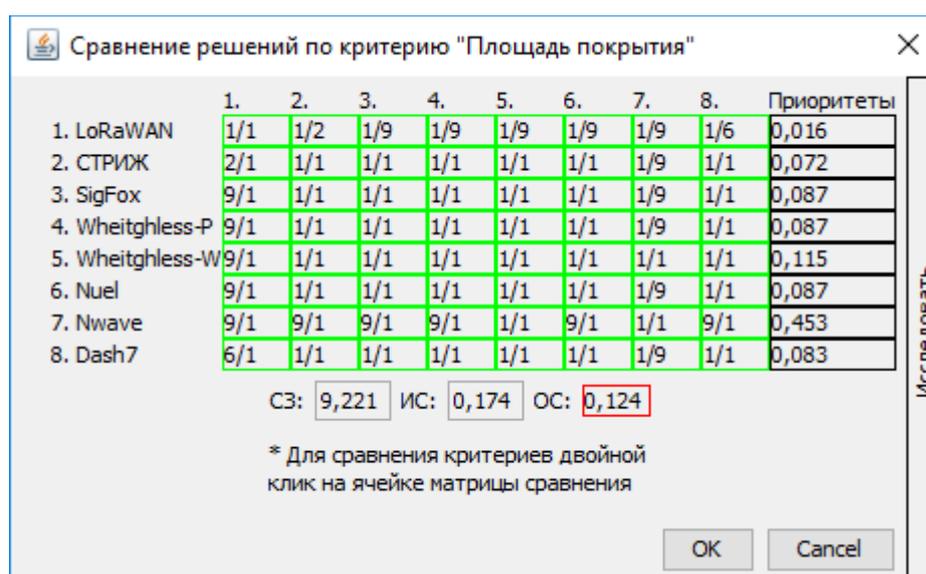


Рисунок 13 – Пример превышения допустимого индекса согласованности

Результаты работы экспертов в ходе исследования зафиксированные в матрицах парных сравнений приведены ниже в таблицах 1-13 по каждому критерию соответственно.

Таблица 1 – оценка по критерию «Площадь покрытия одной базовой станцией»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless -P	Wheitghless -W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	3	2	4	2	5	3	2
СТРИЖ	1/3	1	1/2	3	1/2	6	1/2	1/2
SigFox	1/2	2	1	3	2	4	2	1
Wheitghless -P	1/4	1/3	1/3	1	1/4	2	1/4	1/4
Wheitghless -W	1/2	2	1/2	4	1	5	1	1
Nuel	1/5	1/6	1/4	1/2	1/5	1	1/5	1/5
Nwave	1/3	2	1/2	4	1	5	1	1
Dash7	1/2	2	1	4	1	5	1	1

Таблица 2 – оценка по критерию «Используемая частота»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless -P	Wheitghless -W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	2	3	2	1/4	1/3	2	1
СТРИЖ	1/2	1	2	1	1/6	1/5	1	1/2
SigFox	1/3	1/2	1	1/3	1/6	1/6	1/2	1/3
Wheitghless -P	1/2	1	3	1	1/5	1/4	2	1
Wheitghless -W	4	6	6	5	1	2	6	5
Nuel	3	5	6	4	1/2	1	4	3
Nwave	1/2	1	2	1/2	1/6	1/4	1	1/2
Dash7	1	2	3	1	1/5	1/3	2	1

Таблица 3 – оценка по критерию «Номинальная скорость передачи данных»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	2	3	1	2	1	2	3
СТРИЖ	1/2	1	1/3	1	1	1	1/2	1
SigFox	1/3	3	1	3	1/2	1	2	2
Wheitghless-P	1	1	1/3	1	1/4	1	1/2	1
Wheitghless-W	1/2	1	2	4	1	1	1	2
Nuel	1	1	1	1	1	1	2	3
Nwave	1/2	2	1/2	2	1	1/2	1	2
Dash7	1/3	1	1/2	1	1/2	1/3	1/2	1

Таблица 4 – оценка по критерию «Масштабируемость»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	2	1	2	4	3	2	2
СТРИЖ	1/2	1	1	1/2	3	2	1	1
SigFox	1	1	1	1	3	3	1	2
Wheitghless-P	1/2	2	1	1	4	3	2	2
Wheitghless-W	1/4	1/3	1/3	1/4	1	1/2	1/3	1/3
Nuel	1/3	1/2	1/3	1/3	2	1	1/2	1/2
Nwave	1/2	1	1	1/2	3	2	1	1
Dash7	1/2	1	1/2	1/2	3	2	1	1

Таблица 5 – оценка по критерию «Наличие и качество документации»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	1	1/2	1/3	1	1	1/2	1
СТРИЖ	1	1	1/2	1/3	1	1	1/2	1
SigFox	2	2	1	1/2	2	2	2	2
Wheitghless-P	3	3	2	1	3	3	2	3
Wheitghless-W	1	1	1/2	1/3	1	1	1/2	1
Nuel	1	1	1/2	1/3	1	1	1/2	1
Nwave	2	2	1/2	1/2	2	2	1	2
Dash7	1	1	1/2	1/3	1	1	1/2	1

Таблица 6 – оценка по критерию «Наличие оконечных устройств с поддержкой стандарта на рынке»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	2	1/2	3	2	3	2	2
СТРИЖ	1/2	1	2	3	1	3	2	2
SigFox	2	1/2	1	4	3	5	3	4
Wheitghless-P	1/3	1/3	1/4	1	1/3	1	1/2	1/2
Wheitghless-W	1/2	1	1/3	3	1	3	2	2
Nuel	1/3	1/3	1/5	1	1/3	1	1/2	1/2
Nwave	1/2	1/2	1/3	2	1/2	2	1	1
Dash7	1/2	1/2	1/4	2	1/2	2	1	1

Таблица 7 – оценка по критерию «Устойчивость к помехам»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	2	1/2	1	1/3	2	2	2
СТРИЖ	1/2	1	1/2	1/2	2	2	1	1
SigFox	2	2	1	2	1/2	3	4	3
Wheitghless-P	1	2	1/2	1	3	3	2	2
Wheitghless-W	3	1/2	2	1/3	1	5	4	4
Nuel	1/2	1/2	1/3	1/3	1/5	1	1	1
Nwave	1/2	1	1/4	1/2	1/4	1	1	1
Dash7	1/2	1	1/3	1/2	1/4	1	1	1

Таблица 8 – оценка по критерию «Безопасность»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	1	1	1/2	2	2	1/3	1/3
СТРИЖ	1	1	1	1/3	2	2	1/3	1/3
SigFox	1	1	1	1/3	2	2	1/3	1/3
Wheitghless-P	2	3	3	1	5	5	1/2	1/2
Wheitghless-W	1/2	1/2	1/2	1/5	1	1	1/5	1/5
Nuel	1/2	1/2	1/2	1/5	1	1	1/5	1/5
Nwave	3	3	3	2	5	5	1	1
Dash7	3	3	3	2	5	5	1	1

Таблица 9 – оценка по критерию «Поддержка mesh»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	1	2	2	3	3	2	3
СТРИЖ	1	1	2	2	3	2	2	3
SigFox	1/2	1/2	1	1	2	1/2	1	2
Wheitghless-P	1/2	1/2	1	1	2	1/2	1	2
Wheitghless-W	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1/3	1/2	1
Nuel	1/3	1/2	2	2	3	1	1/2	1
Nwave	1/2	1/2	1	1	2	2	1	2
Dash7	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1/2	1

Таблица 10 – оценка по критерию «Открытость протокола (платформы)»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	3	2	1/2	4	1/2	1/3	1/3
СТРИЖ	1/3	1	1/2	1/3	2	1/3	1/3	1/3
SigFox	1/2	2	1	1/2	3	3	1/2	1/2
Wheitghless-P	2	3	2	1	4	1/2	1/2	1/2
Wheitghless-W	1/4	1/2	1/3	1/4	1	1/5	1/5	1/4
Nuel	2	3	1/3	2	5	1	2	2
Nwave	3	3	2	2	5	1/2	1	1
Dash7	3	3	2	2	4	1/2	1	1

Таблица 11 – оценка по критерию «Стоимость оборудования»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	1	1/4	1	1	1	1/3	1/3
СТРИЖ	1	1	1	1	1	1	1/3	1/3
SigFox	4	1	1	4	4	5	2	2
Wheitghless-P	1	1	1/4	1	1	1	1/3	1/3
Wheitghless-W	1	1	1/4	1	1	1	1/3	1/3
Nuel	1	1	1/5	1	1	1	1/3	1/3
Nwave	3	3	1/2	3	3	3	1	1
Dash7	3	3	1/2	3	3	3	1	1

Таблица 12 – оценка по критерию «Наличие поставщиков оборудования в РФ»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	2	1/3	2	1/3	1/3	2	2
СТРИЖ	1/2	1	1/5	1	1/4	1	1	1
SigFox	3	5	1	5	1	1	4	5
Wheitghless-P	1/2	1	1/5	1	1/4	2	1	1
Wheitghless-W	3	4	1	4	1	1	4	4
Nuel	3	1	1	1/2	1	1	4	4
Nwave	1/2	1	1/4	1	1/4	1/4	1	1
Dash7	1/2	1	1/5	1	1/4	1/4	1	1

Таблица 13 – оценка по критерию «Наличие производителей оборудования в РФ»

	LoRaWAN	СТРИЖ	SigFox	Wheitghless-P	Wheitghless-W	Nuel	Nwave	Dash7
LoRaWAN	1	2	1	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2
СТРИЖ	1/2	1	1/2	1/4	1/4	1/5	1/3	1/3
SigFox	1	2	1	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2
Wheitghless-P	3	4	2	1	1	1	2	1
Wheitghless-W	3	4	3	1	1	1	2	2
Nuel	3	5	3	1	1	1	1/2	1/2
Nwave	2	3	2	1/2	1/2	2	1	1
Dash7	2	3	2	1	1/2	2	1	1

После заполнения матриц парных сравнений по всем критериям были получены следующие значения приоритетов для каждой из альтернатив:

- LoRaWAN – 0,163;
- СТРИЖ – 0,155;
- SigFox – 0,128;
- Nuel – 0,127;
- Nwave – 0,126;
- Wheitghless-W – 0,120;
- Wheitghless-P – 0,108;
- Dash7 – 0,73.

В графическом виде результаты представлены на рисунке 14.

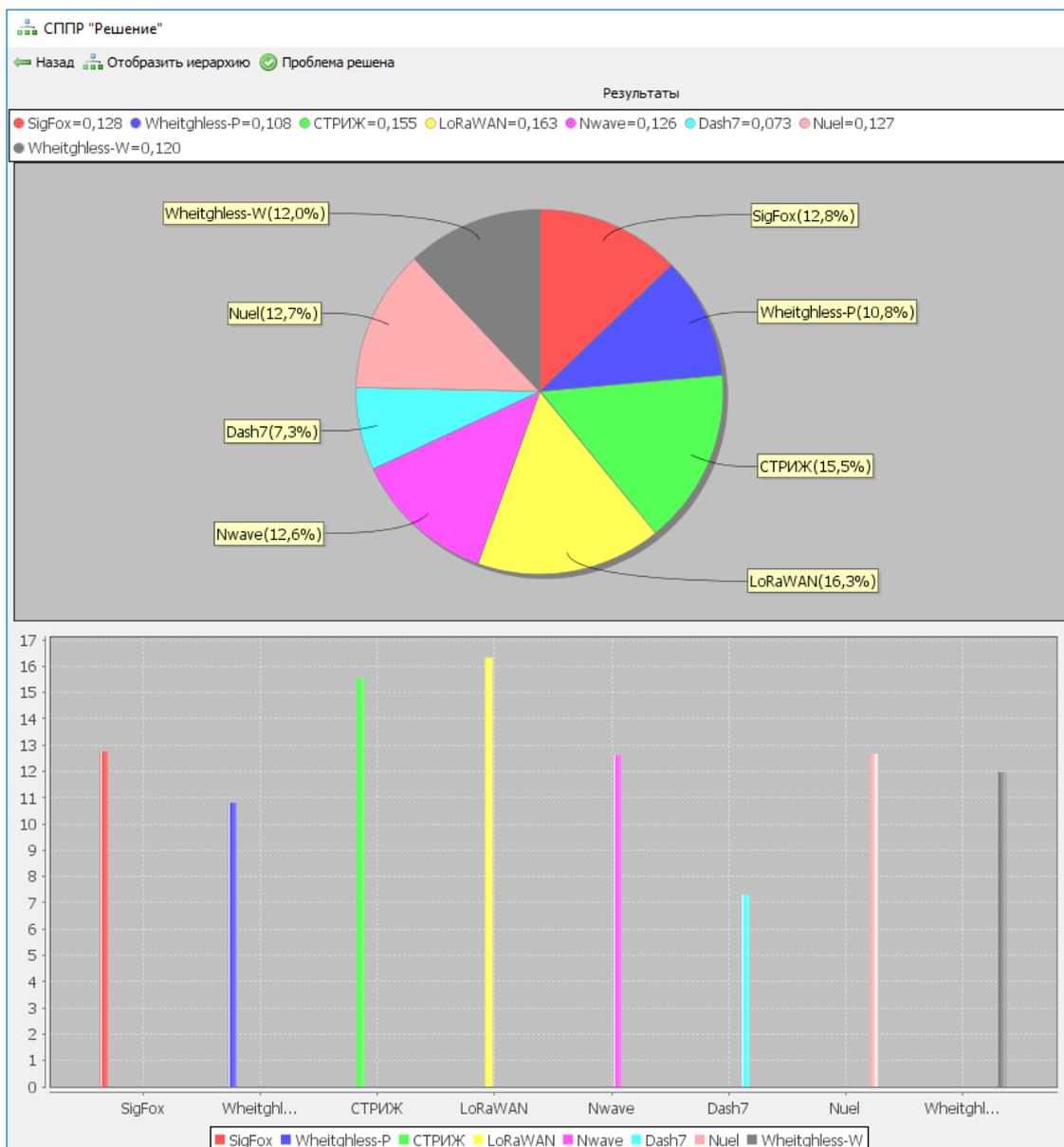


Рисунок 14 – результаты решения проблемы «Выбора рационального стандарта связи»

Таким образом, в ходе исследования путем оценки 8 альтернатив по 13 критериям было установлено, что наиболее предпочтительным стандартом радиосвязи для реализации проекта модернизации информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос» является LoRaWAN. Рассмотрим более подробно особенности структуры сетей на базе стандарта LoRaWAN. Общий вид структуры сети, организованной на основе использования протокола LoRaWAN изображен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Общий вид структуры сети LoRaWAN

На основании анализа представленной схемы можно выделить 4 типа устройств: сервер приложений, сетевой сервер, шлюзы и конечные узлы (оконечные узлы, end-node). Конечные узлы осуществляют прямой обмен с одним или несколькими шлюзами сети. Шлюзы обеспечивают связь между сетью LoRa и остальными сегментами сети, подключаются к сетевому серверу по протоколу IP. Сетевой сервер идентифицирует данные, посылает пользовательские данные на сервер приложений. Сетевой сервер соединяется с сервером приложений посредством IP соединения. Сервер приложений является получателем данных, получает и расшифровывает данные от оконечных устройств. В структуре одной сети LoRaWAN могут находиться несколько серверов приложений. Схематично взаимодействие данных компонентов сети приведено на рисунке 16.



Рисунок 16 – Схема взаимодействия элементов сети с использованием протокола LoRaWAN

Рассмотрим более подробно принцип работы шлюзов и конечных узлов. Конечный узел работает по схеме, изображенной на рисунке 17, и производит прямой обмен данными с одним или несколькими шлюзами сети.

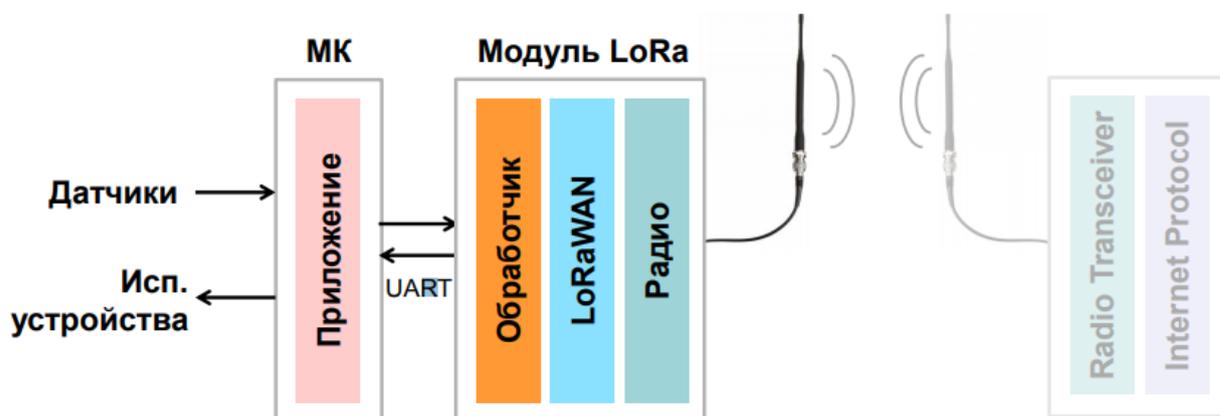


Рисунок 17 – Схема взаимодействия оконечных устройств со шлюзами сети

Согласно последней редакции спецификации LoRaWAN 1.1, принятой на 9-й встрече участников LoRa-альянса в Китае 17-20 октября 2017 г., выделяют три класса оконечных устройств: устройства класса А, устройства класса В и С, отличающихся друг от друга режимами приема. Рассмотрим каждый из классов более подробно.

Класс А является базовым и должен поддерживаться всеми устройствами. Устройства класса А после каждой передачи открывают два коротких временных окна на прием (обозначаются как RX1 и RX2). Схематично работа устройств данного класса отображена на рисунке 18.

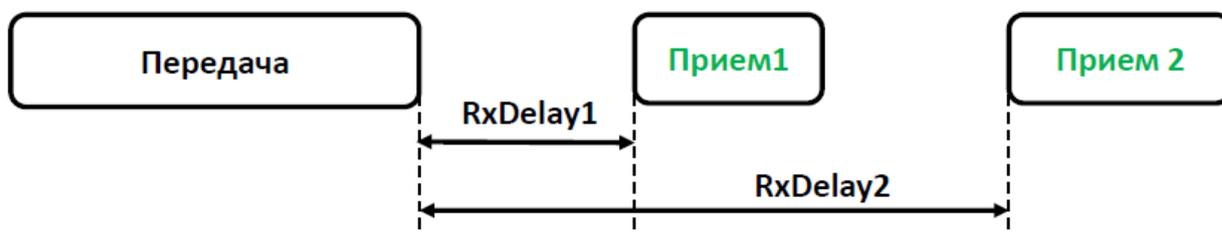


Рисунок 18 – Схема работы устройств Класса А

Интервалы от конца передачи до открытия первого и второго временных окон могут конфигурироваться, но должны быть одинаковыми для всех устройств в данной сети (RECEIVE_DELAY1, RECEIVE_DELAY2). Для европейского диапазона 868 МГц рекомендованное значение RECEIVE_DELAY1 составляет 1 секунду. Значение RECEIVE_DELAY2 должно равняться (RECEIVE_DELAY1 + 1) секунда. Используемые частотные каналы и скорости передачи для интервалов RX1 и RX2 могут отличаться. Рекомендуемые значения приведены в отдельном документе — «LoRaWAN Regional Parameters», доступном на сайте lora-alliance.org. Устройства класса А являются самыми низкопотребляющими, но для передачи сообщения от сервера к конечному устройству необходимо дождаться следующего исходящего сообщения от этого устройства. Среди особенностей конечных устройств класса А можно выделить следующие:

- осуществляют двунаправленный обмен данными;
- обмениваются адресными сообщениями;
- передают малый объем данных;
- характерны большие интервалы между сообщениями;
- узел инициирует обмен данными;

— сервер может соединяться с узлом только в определенные моменты времени.

К достоинствам устройств данного класса можно отнести наименьшее энергопотребление, как результат – долгая работа батареи, обмен данными контролируется узлом. Недостаток – большая задержка в обмене данными.

Класс В (маяк). В добавок к окнам приема, определенным для устройств класса А, устройства класса В открывают дополнительные окна приема по расписанию. Для синхронизации времени открытия дополнительных окон приема шлюзы излучают маячки. Все шлюзы, входящие в состав одной сети, должны излучать маячки одновременно. Маячок содержит идентификатор сети и метку времени (UTC). Использование класса В гарантирует, что при опросе оконечных устройств задержка отклика не будет превышать определенную величину, определяемую периодом маячков. К особенностям устройств класса В относятся:

- двунаправленный обмен данными с фиксированным расписанием приема;
- адресный и мультиадресный обмен данными в сети;
- малый объем передаваемых данных;
- большие интервалы между сообщениями;
- периодическое получение маяков от шлюза;
- более широкое окно приема (по сравнению с устройствами класса А);
- сервер может инициировать обмен данными в определенные моменты времени.

К достоинствам устройств класса В относится детерминированная задержка передачи данных. К недостаткам – более высокое энергопотребление по сравнению с устройствами класса А.

Схематично принцип работы устройств данного класса изображен на рисунке 19.

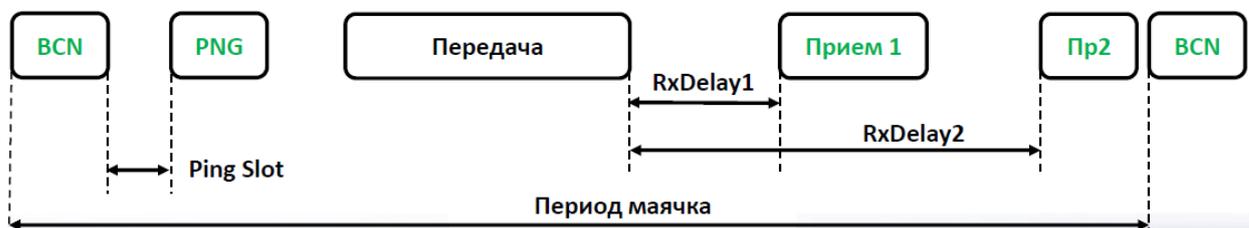


Рисунок 19 – Схема работы устройств Класса В

Устройства класса С. Устройства данного класса находятся в режиме приема практически всё время, за исключением промежутков, когда они передают сообщения. За исключением временного окна RX1, оконечное устройство использует параметры приема RX2. Принцип их работы изображен на рисунке 20.

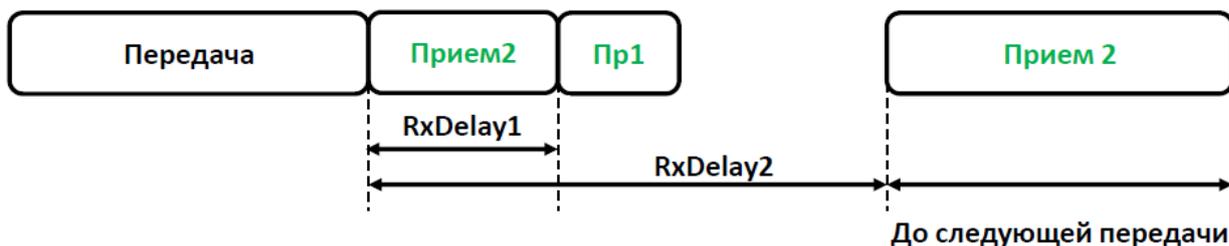


Рисунок 20 – Схема работы устройств Класса С

Особенностями устройств данного класса является:

- двунаправленный обмен данными;
- адресный и мультиадресный обмен данными;
- малый объем передаваемых данных;
- сервер может инициировать обмен в любой момент времени;
- устройство всегда находится в режиме приема.

К достоинствам устройств данного класса можно отнести малую задержку обмена данными, устройства данного класса всегда находятся в

режиме приема. К недостаткам относится самое большое энергопотребление среди устройств всех классов. Как правило, устройства данного класса применяются там, где не нужно изо всех сил экономить энергию или где необходимо опрашивать оконечные устройства в произвольные моменты времени.

Помимо оконечных устройств различных классов для реализации сети с использованием протокола LoRaWAN необходимы базовые станции (шлюзы, концентраторы). Базовые станции осуществляют прием данных от оконечных устройств по каналу радиосвязи и передают их в транзитную систему. В качестве транзитной системы соединяющей оконечные устройства с сервером приложений может быть использована сеть Ethernet, каналы сотовой связи или другие телекоммуникационные каналы связи (рисунок 21).

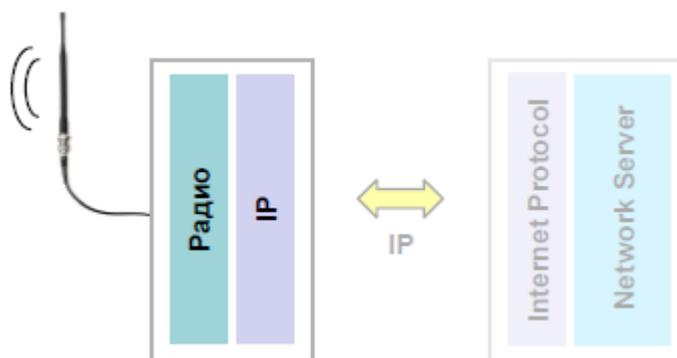


Рисунок 21 – Схема работы шлюза LoRaWAN

Шлюзы, применяемые в сетях LoRaWAN, разработаны для работы с сетевой топологией типа «звезда». Они также содержат многоканальные приемопередатчики, которые позволяют обрабатывать радиосигналы в нескольких каналах одновременно, а также производить модуляцию и демодуляцию нескольких сигналов в одном канале. В составе шлюзов используются другие радиочастотные компоненты, нежели чем в оконечных устройствах, что позволяет обеспечить большую мощность и формирует прозрачные мост ретрансляции сообщений между оконечными устройствами

и центральным сервером сети. В различных реализациях сети классическая топология может быть нарушена, например, в случае применения ретрансляторов, mesh-сетей или в случаях, когда одно физическое устройство выполняет несколько функций (рисунок 22).

Конечные узлы

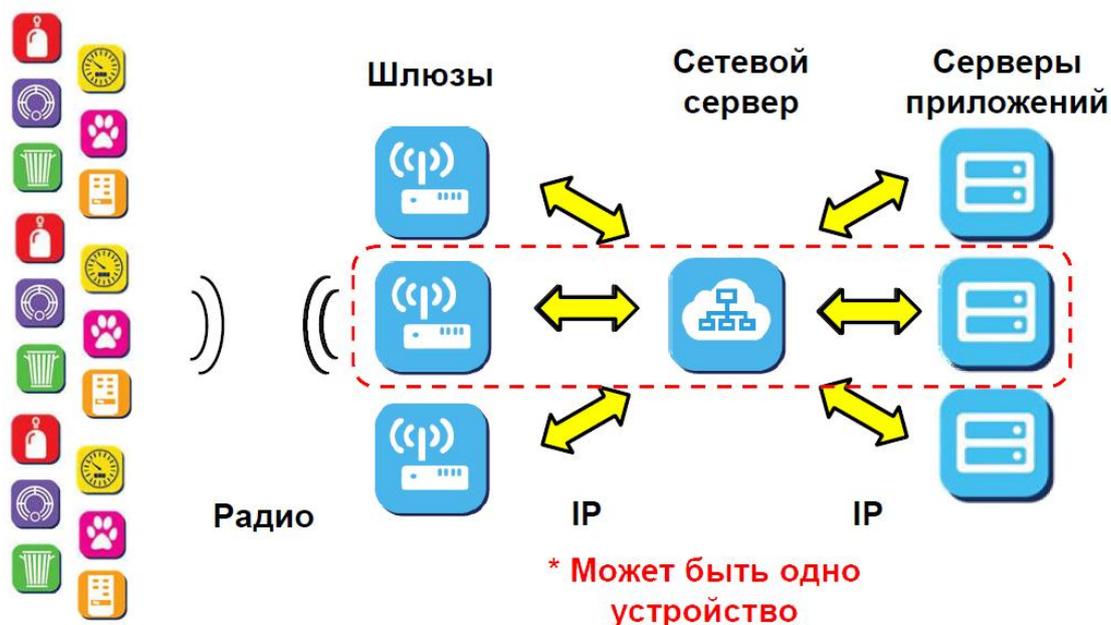


Рисунок 22 – Пример сети с мультифункциональным устройством

Рассмотренные выше особенности работы сети на основе протокола LoRaWAN, дают возможность оценить трудоемкость проекта реализации такой сети. Детальное понимание особенностей организации сети с применением данного протокола позволяет проектировать сети с наибольшей эффективностью использования оборудования, а различные классы конечных энергоэффективных устройств позволяют создавать дополнительные решения в рамках концепции Интернета вещей на базе данной сети.

3 Проект совершенствования информационно-телекоммуникационных средств управления АСУНО «Гелиос»

Работы по совершенствованию информационно-телекоммуникационных средств управления АСУНО «Гелиос», а именно модернизацию системы с целью перехода на стандарт связи LoRaWAN можно условно разделить на 3 группы – модернизация аппаратного обеспечения, модернизация программного обеспечения и развертывание сети. Произведем расчеты затрат по каждому виду затрат.

Согласно оценке экспертов, данной по итогам определения наиболее приоритетного стандарта радиосвязи, для покрытия территории города Белгород необходимо 9 базовых станций LoRaWAN (рисунок 23).



Рисунок 23 – базовая станция BC-1 (производство "Вега-Абсолют")

Стоимость работ по установке одной базовой станции на объекте заказчика составляет 16 000 рублей, согласно данным компании ООО «К-Радио», работающей по все территории РФ. Стоимость базовой станции

составляет 28 350. Таким образом, для развертывания сети необходимо провести работы общей стоимостью 399 150 рублей.

Расчет стоимости организации развертывания сети требует отдельной детальной проработке с учетом карты покрытия сети. В ходе реализации проекта возможно параллельное использование стандартов связи – мобильной в отдаленных частях города, где развертывание сети не целесообразно, и LoRa на территории с наибольшей плотностью устройств.

Следующая группа работ – обновление программного обеспечения. Нужно учитывать, что в актуализации нуждается ПО сервера и ПО конечных устройств – ШУ. Таким образом трудоемкость работ по актуализации ПО серверной части с учетом тестирования можно оценить в 280ч исходя из средней заработной платы программистов в г. Белгород 30 000 рублей в месяц, можно вычислить стоимость одного рабочего часа 170 рублей, а стоимость всех работ – 47 600. Вторая часть – актуализация ПО конечных устройств трудоемкостью 1 час из расчета на 1 устройство. Таким образом трудоемкость обновления ПО всех устройств 458 часов, а стоимость – 77860 рублей.

Кроме того стоимость модернизации ШУ в количестве 458 штук для установки приемо-передающей аппаратуры LoRa будет состоять из стоимости адаптеров связи и работ по их монтажу. Стоимость контроллера LoRa составляет 1320 рублей, а трудоемкость работ по его установке можно оценить как 1,5 часа работы монтажника. Таким образом исходя заработной платы специалиста по релейной защите, осуществляющего монтаж оборудования в 28 000 рублей можно рассчитать стоимость монтажа 240 рублей, без учета затрат на проезд к месту монтажа. Следовательно стоимость модернизации одной единицы ШУ 1560 рублей. Все ШУ на территории города Белгород 714 480 рублей.

Минимальная оценочная стоимость работ по проекту модернизации информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос» составляет 1 191 490 рублей. Соотношение затрат на реализацию проекта и

стоимости абонентской платы использования услуг оператора сотовой связи позволяет вычислить срок окупаемости проекта 19 месяцев.

Необходимо отметить, что расчеты учитывают минимальные затраты, и в расчет не включены затраты на оборудование вышедшее из строя в ходе пускно-наладочных работ, не включены затраты на транспортировку оборудования, бригады монтажников. Не учены возможные риски.

В основе расчетов лежат субъективные оценки экспертов о трудоемкости работ и количестве базовых станций необходимых для разворачивания сети LoRa на территории города Белгород. Провести более точные расчеты представляется возможным после проведения экспериментальных замеров силы сигнала, уточнения количества необходимого оборудования, а также выделения сегментов сети, которые будут использовать старый стандарт связи – GSM в связи с нецелесообразностью разведывания сети в отдаленных частях города.

Также необходимо отметить, что для снижения стоимости реализации необходимо рассмотреть другие проекты реализации с использованием инфраструктуры разворачиваемой сети, например внедрения автоматизированных приборов учета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения исследования был проведен анализ информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос». В ходе анализа было установлено, что система в качестве каналов связи использует беспроводную связь стандарта GSM, арендуя мощности оператора мобильной связи. Стоимость услуг связи ежемесячно составляет 63 200. Что является существенным недостатком, а также недостатком является тот факт, что оператор системы не имеет полного контроля над каналами связи, используемыми в системе.

С целью выявленных недостатков были исследованы существующие стандарты радиосвязи. Выбрано 8 альтернатив выбора стандарта связи большого радиуса действия.

Для выбора рационального стандарта связи из имеющихся альтернатив были синтезированы 13 критериев. Для решения задачи многокритериального выбора был использован метод анализа иерархий, который программно реализован в СППР «Решение». Применение специализированного программного средства позволило существенно повысить точность результатов, а также исключить механические ошибки заполнения матриц парных сравнений. В результате работы экспертной группы, альтернативой имеющей наибольший приоритет был определен стандарт связи LoRa. Выбранный стандарт связи был дополнительно рассмотрен подробнее во второй главе.

В третьей главе были произведены расчеты затрат на реализацию проекта модернизации информационно-телекоммуникационной инфраструктуры АСУНО «Гелиос» которые составили 1 191 490 рублей, а срок окупаемости с учетом текущей стоимости потребляемых услуг связи – 19 месяцев.

Необходимо отметить, что расчеты проведены в первом приближении

– выявлена минимальная стоимость, которая с большой вероятностью будет превышена при реализации проекта. Более точные расчеты требует дополнительных экспериментальных замеров для уточнения необходимого количества оборудования. Также с целью снижения стоимости реализации проекта необходимо провести дополнительные изыскания смежных проектов, для снижения стоимости.

Подводя итог исследования, можно констатировать, что цель исследования достигнута. Результаты, полученные в ходе исследования актуальны, и могут быть использованы в дальнейшей работе над данной тематикой. Стоит отметить, что результаты исследования могут быть полезны другим исследователям вопросов построения энергоэффективных сетей городского масштаба, а синтезированная группа критериев может быть модернизирована и применена к другим проектам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ericsson Mobility Report November 2016 [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Стокгольм, 2016. – режим доступа: <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report...>, свободный
2. Huawei: преимущества за счет применения технологии NB-IoT в вертикальных отраслях [Электронный ресурс]/Технологии и средства связи// Компания «Гротек». – Москва, 2016. URL: http://tssonline.ru/newstext.php?news_id=109885
3. LoRa-модули [Электронный ресурс]Euro Mobile. – электрон. текстовые дан. Санкт-Петербург: 2016 – Режим доступа: <https://www.euromobile.ru/produkcija/lora/lora-moduli/>, свободный
4. LORACети передачи данных на большие расстояния LoRaWAN [Электронный ресурс] / Е. Гришко – Электрон. текстовые дан. – Москва: 2016 – Режим доступа: <http://docplayer.ru/54912754-Lora-seti-peredachi-dannyh-na-bolshie-rasstoyaniya-lorawan-g-moskva-2016-g.html>, свободный
5. LPWAN Revenue Forecast, 2017 to 2023 [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан Rethink Research. Бристоль, Великобритания 2017 Режим доступа: <http://rethinkresearch.biz/report/lpwan-market-foreca...>, свободный
6. Saaty, T.L. Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation / T.L. Saaty. – University of Pittsburgh, RWS Publications, 1990. – 287 pages.
7. Simon H., Newell A. Heuristic problem solving: the next advance in operations research // Operations Research. — 1958. — Vol. 6, no. 1. — Pp. 1–10
8. SORNIN N., YEGIN A. LoRaWAN 1.1 Specification – LoRa Alliance inc. Vancouver Washington 2017.

9. Аверкин, А.Н. Поддержка принятия решений в слабоструктурированных предметных областях. Анализ ситуаций и оценка альтернатив [Текст] / А.Н. Аверкин [и др.] // Теория систем управления. – Вып. 3. – 2006. – С.139-149.

10. Архитектура LoRaWAN сети. Сообщество разработчиков LoRa LoRaWAN LPWAN [Электронный ресурс] –Электрон. текстовые дан. 2015-2017 гг. Режим доступа <http://lo-ra.ru/lora-networks/>, свободный

11. Барсков, А.Сети для IoT: LPWAN [Электронный ресурс]/А.Барсков// Журнал сетевых решений/LAN. Москва, 2016. URL: <https://www.osp.ru/lan/2016/11/13050722/>

12. Безрук, В.М. Выбор оптимальных речевых кодеков на основе методологии многокритериальной оптимизации [Текст] / В.М. Безрук [и др.] // Информационные системы и технологии. – 2014. – №2(82). – С. 84-92.

13. Битва за потребителя: беспроводные сети среды IoT [Электронный ресурс]/Инноватор. The IoT business Magazine 2|17. 2017. URL: <http://controleng.ru/wp-content/uploads/02.pdf>

14. В. Бруцкий, Архитектура LoRaWAN сетей [Электронный ресурс] Сообщество LoRaWAN / В. Бруцкий – электрон. текст. дан. – Режим доступа <http://lorawan.lace.io/lorawan-networks>, свободный.

15. Верхулевский, К. Особенности и тенденции развития технологии LoRaWAN [Электронный ресурс]/ К.Верхулевский// Компания «КВЕСТ». Выборг, 2017. URL: <http://icquest.ru/upload/c86aa1caae6d63eba860ea923ef4f4e8.pdf>

16. ГомаХ. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений: Пер. с англ. - М.: ДМК Пресс, 2011. - 704 с.

17. ГОСТ 14254-2015 Межгосударственный стандарт. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)[Текст] Взамен ГОСТ 14254-96 – введ. 2017.03.01 – Москва: Росстандарт. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2016 год 34с.

18. ГОСТ 15150-69 Межгосударственный стандарт. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды – введ. 1971.01.01, Москва: Стандартиформ 2010, 58с.

19. Для корпоративных WLAN – только 5 ГГц [Электронный ресурс]/ИКС-МЕДИА// ООО «ИКС-МЕДИА». – Москва, 2016. – Режим доступа: <http://www.iksmedia.ru/news/5276015-Dlya-korporativnykh-WLAN-tolko-5-GGc.html>

20. Жиляков, Е.Г. Адаптивное определение относительных важностей объектов на основе качественных парных сравнений [Текст] / Е.Г. Жиляков // Экономика и математические методы. – 2006. – Т.42. – №2. – С.111-122.

21. Зайцев И.М., Лысакова Т.А. Выбор рационального типового оборудования для реализации проектов энергоэффективных радиосетей/ И.М.Зайцев, Т.А.Лысакова//Восьмая международная научно-практическая конференция «Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт». Сборник трудов конференции. – Белгород: Издательство ООО «ГиК», 2017. – с.13-16

22. Использование радиотехнологий LPWAN для рынка Интернета вещей [Электронный ресурс] - ООО «ЭсКаСи» – Электрон. текстовые дан.. – Москва 1997-2017. Режим доступа: <https://www.itbestsellers.ru/products/detail.php?ID=38152>, свободный

23. Как выбрать стандарт связи для сети IoT [Электронный ресурс]/Geektimes// TechMedia. – Москва, 2016. – Режим доступа: <https://geektimes.ru/company/commandspot/blog/271618/>

24. Киселёв, И.С. Показатель согласованности количественных предпочтений в матрице парных сравнений [Текст] / И.С. Киселёв // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – №5. – С. 22-24.

25. Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Физматлит, 1996. – 208 с.
26. Ларичев, О.И. Наука и искусство принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1979.-200 с.
27. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах [Текст] : Учебник / О.И. Ларичев. – Изд. 2-е, перераб. и доп.– М.: Логос, 2002.– 392 с.
28. Литвак, Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа [Текст] / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
29. Лысакова Т.А., Зайцев И.М. Выбор рационального протокола связи энергоэффективных сетей для построения сети интернета вещей в условиях городской застройки/Т.А.Лысакова, И.М.Зайцев//Восьмая международная научно-практическая конференция «Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт». Сборник трудов конференции. – Белгород: Издательство ООО «ГиК», 2017. – с.16-19
30. Мегафон первым в России протестировал работу счетчиков для ЖКХ в стандарте NB-IoT [Электронный ресурс]/Газета «Волжская коммуна». – Москва, 2017. – URL: <http://www.vkonline.ru/news/archive/179847/megafon-pervym-v-rossii-protestiroval-rabotu-schetchnikov-dlya-zhkh-v-standarte-nbiot>
31. Н.А. Соловьев Основы теории принятия решений для программистов: учебное пособие/ Н.А. Соловьев, Е.Н. Чернопрудова, Д.А. Лесовой; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 187 с.
32. Новиков, Д.А. Человеческий фактор в управлении / Д.А. Новиков; под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсбурга, Д.А. Новикова. – М.: КомКнига, 2006. -496 с.
33. Обзор технологии SigFox [Электронный ресурс]/ SigFox. – 2017. - Режим доступа: <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>
34. Огурцов, А.Н. Обеспечение согласованности экспертных оценок в системе поддержки принятия решений на основе попарных сравнений

альтернатив [Текст] / А.Н. Огурцов // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – №6. – С.111-114.

35. Оконечное оборудование LoRaWAN [Электронный ресурс]/ Электрон. текстовые дан. – Москва: 2016. Режим доступа <http://loralink.ru/equipment/terminal.html>, свободный

36. Открытый стандарт Weightless [Электронный ресурс]/ Weightless SIG. – Cambridge. UK. – 2017. - Режим доступа: <http://www.weightless.org/keyfeatures/open-standard>

37. Пасюк, А.О. Технологии и протоколы взаимодействия для систем IoT/А.О.Пасюк// Проблемы передачи информации в инфокоммуникационных системах. Сборник докладов и тезисов VII Всероссийской научно-практической конференции. – Волгоград, 2016. – С.93-100

38. Приборы с LoRa. [Электронный ресурс] / электрон. текстовые данн. – СПб: 2017. – Режим доступа: http://www.auroramobile.ru/category_81_show_all.html, свободный.

39. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования Руководящий документ. Издание официальное. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. — 75 с.

40. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224с.

41. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993.– 278 с.

42. Сетевое решение с низким энергопотреблением и низкой стоимостью [Электронный ресурс]/ Nwave. – London, 2017. – Режим доступа: <https://www.nwave.io/nwave-network/>

43. Системный анализ [Электронный ресурс]: Центр гуманитарных технологий / Н. Д. Дроздов. В. Н. Чернышов. А. А. Шумский А. А. Шелупанов. А. В. Александров – электрон. текстовые дан. – Москва 2017. – Режим доступа: <http://gtmarket.ru/concepts/7111#t4.2>, свободный

44. Состояние и перспективы использования радиотехнологий LPWAN в различных сегментах рынка интернета вещей (IoT)/ Компания «Zelax». – Москва, 2017. – URL: [https://www.zelax.ru/news/telecom/2017/08/09/sostoyanie-i-perspektivy-i-ispolzovaniya-radioteknologij-lpwan-v-razlichnyix-segmentax-ryinka-interneta-veshhej-\(iot\)/](https://www.zelax.ru/news/telecom/2017/08/09/sostoyanie-i-perspektivy-i-ispolzovaniya-radioteknologij-lpwan-v-razlichnyix-segmentax-ryinka-interneta-veshhej-(iot)/)

45. Тимовский А. Развитие сетей LoRaWAN в России: беспроводные системы диспетчеризации для ЖКХ [Текст] / Тимовский А. / IoT приложение к журналу Control Engineering Россия. октябрь 2016, с 60-61.

46. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений [Текст] / Э.А. Трахтенгерц. – М.: Синтег, 1998.– 376 с.

47. Трахтенгерц, Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений [Текст] / Э.А. Трахтенгерц.– М.: Синтег, 2001.– 256 с.

48. Черемных СВ. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / С.В.Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. - М.: Финансы и статистика, 2006. - 192 с:

